

大冶铁矿滑坡破坏特征及判据

肖云,李先福,周春梅

(武汉工程大学环境与城市建设学院,湖北 武汉 430074)

摘要:通过地质调研,分析了大冶铁矿滑坡体破坏特征和成因.根据滑坡发展过程表现出来的破裂扩展极限特征,建立了滑坡位移、变形速率、蠕变切线角、位移加速度、位移矢量角变化趋势曲线.运用数理统计,将多参数进行联合分析,提出了滑坡的综合预报判据,为滑坡后续监测提供了科学的理论和实际依据.

关键词:滑坡破坏特征;滑坡预测预报;滑坡判据

中图分类号: X43

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1674-2869.2011.12.010

0 引言

滑坡的预测预报和监测预警一直是世界难题.目前国内外学者提出了多种滑坡预报的模型和方法,并取得了一定成果,实现了成功预报的可能,但临界极限值判据国内外仍处于探索阶段.斜坡变形演化过程复杂、不确定,真正推广的滑坡预警判据还不多^[1].本文从滑坡的特征、诱发因素和大量历年监测信息统计入手,依据各参数变化的综合趋势分析,探讨滑坡的预警判据,为滑坡灾害的防治提供理论和现实的依据.

1 工程概况

大冶铁矿滑坡位于狮子山北帮,包括 A_1 及 A_2 滑坡,如图1图2所示. A_1 号滑坡发生于1990年4月30日狮子山北帮,平面坐标为 $X: 87\ 359 \sim 87\ 410$, $Y: 44\ 839 \sim 44\ 909$. 滑坡规模 $6\ 000\ m^3$, 滑体及其西北侧和下部岩体主要向东南(120° 左右)方向位移^[2]. A_2 滑坡发生的时间为1996年7月1日~13日,平面坐标为 $X: 87\ 240 \sim 87\ 400$, $Y: 44\ 800 \sim 45\ 000$.

1.1 滑坡区岩组及岩体结构类型

滑坡区区内出露岩层为燕山期(三叠系中上统)闪长岩侵入体.岩性主要有黑云母透辉石闪长岩.其次为蚀变形成的钾钠长石化闪长岩.蚀变透辉石闪长岩和高岭土绿泥石化闪长岩.其中蚀变透辉石闪长岩分布于尖F₉断层以西,呈碎裂、散体结构,具有吸水膨胀崩解的特点^[3].

区内的岩石中等风化,发育有两组区域性节理 J_3 、 J_4 ,这两组主节理将该区划分为上下两个部分,上部形似楔形体,下部形似正三角形体.另外还有两组节理发育,一组节理与区域性节理近于平行,产状 $320^\circ \angle 75^\circ$,密集发育;另一组节理顺坡面发育,两组节理面将岩体切割成碎裂结构,为滑坡的发生提供了临空面条件^[4].

1.2 滑体监测情况

对狮子山北帮 A_2 滑坡的监测,其监测点主要分布在坡面 $\triangle 180\ m$ 到 $\triangle -60\ m$ 高程(如图2),其中每一高程点监测点的数量根据坡面岩性、节理裂隙而定,一般都有3~5个监测点.监测时间主要是从1990年5月份到1996年6月份,以及部分点后续时间有间断监测.



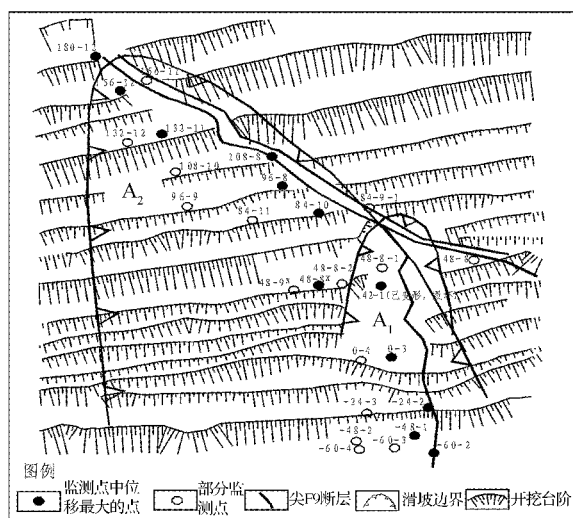
图1 滑坡体现状及其节理分布

Fig. 1 Joints and characteristic of landslide

收稿日期:2011-11-23

基金项目:国家自然科学基金项目(50874080);湖北省自然科学基金重点项目(2009CDA002)

作者简介:肖云(1979-),女,湖北武汉人,博士研究生.研究方向:地质工程.

图 2 A₁ 及 A₂ 滑坡体地表位移监测点布设Fig. 2 Monitoring points on landslide A₁ & A₂

2 滑坡破坏形式及成因分析

2.1 滑坡破坏特征

根据现场调研, A₁ 滑体主要向东南 120° 左右方向位移。A₂ 滑体地表总体呈现三角状, 上窄下宽, 滑体底部宽约 160 m, 滑坡体长约 200 m。滑坡规模 86 000 m³, 该滑坡体顶部高程 +192 m, 剪出口高程 -22 m, 垂直高差达 214 m, 主滑方向 SE150° 左右。A 区滑坡体现状如图 2 所示。研究历年 A₂ 滑坡体监测数据发现, A₂ 滑体在发生破坏前后缘的位移量最大, 前缘最小, 由此可推断 A₂ 是推移式岩质滑坡, 滑坡后缘首先发生破坏, 由后缘的运动推动了前缘的运动^[5]。

2.2 滑坡成因分析

深入的工程地质调研发现, 有较多影响因素影响该滑体的稳定性。主要分为主控因素和诱发因素两类。主控因素: 区域地质环境、岩石的抗变形能力、边坡角度及风化程度、软弱结构面、等; 诱发的不确定因素包含: 爆破、地下开采及人类工程活动、坡底地面塌陷可能引起局部岩体发生崩塌、气候条件中的降雪、温差与水文条件等因素。

滑坡变形破坏原因: ①对边坡稳定不利的岩性(强蚀变绿泥石化透辉石闪长岩), 易吸水膨胀崩解。岩体受强风化和降雨, 抗变形能力弱; ②碎裂岩体结构和地质构造弱面(岩体的碎裂结构和大的断裂构造 F₉ 和 F₂₅ 活动)。地质构造弱面削弱了岩体强度, 岩体整体稳定性较差。

3 滑坡判据的讨论

滑坡预报判据研究可以根据滑坡发展过程表现出来的破裂扩展极限、位移(速率)极限作为临界标志来判定滑坡发生的时间。本文根据历史上

发生过的狮子山北帮 A₂ 滑坡滑动前从 1990 年 5 月份到 1996 年 6 月份的位移监测数据, 通过监测数据的预处理技术, 建立临滑阶段的五种各单因子判据: 位移判据、变形速率判据、蠕变切线角判据、位移加速度判据、位移矢量角变化判据。根据各单因子的综合分析, 结合多参数进行联合预报。

3.1 临滑阶段的位移判据

根据各测点水平位移随监测时间的变化曲线, 该区岩质滑坡运动可分三个阶段, 即蠕滑阶段, 加速阶段, 破坏阶段。滑坡在蠕滑阶段到加速阶段, 位移缓慢由零增加到一定的位移, 从加速阶段向破坏阶段转变是量变到质变的过程, 位移曲线明显陡升, 所以当滑坡从加速阶段向破坏阶段发展时, 就要预警预报, 滑坡可能发生。

从典型测点位移历时曲线特点看, 随着监测时间增长, 位移量增大。监测点破坏前加速滑动位移临界值(即位移翘尾值)如图 3~图 6。不同测点破坏前加速滑动位移临界值(即位移翘尾值)变化如下: 测点 -48-2, -60-4, -36-2 的位移突变值都在 60 mm~90 mm 之间; 测点 -60-1-1, -60-2, -60-3, -60-5, -48-1, -36-1, -24-3 的位移突变值都在 120 mm~200 mm 之间; 测点 -24-2, 0-3, 0-4, 42-1, 108-9, 108-12, 132-12 的位移突变值都在 250 mm~350 mm 之间; 测点 48-8-1, 48-9X, 48-10, 72-11, 72-10'X, 72-11'X, 84-10, 84-11, 96-9, 108-8, 132-11, 156-12 的位移突变值都在 520 mm~900 mm 之间; 另外仅有测点 96-8 的位移突变值为 1 300 mm。

根据滑体不同部位的位移值研究, A₂ 滑坡体在发生破坏前后缘的位移量最大, 前缘最小, 由此可推断 A₂ 是推移式岩质滑坡, 滑坡发生前首先从后缘发生破坏, 由于后缘的运动破坏推动了前缘的运动。

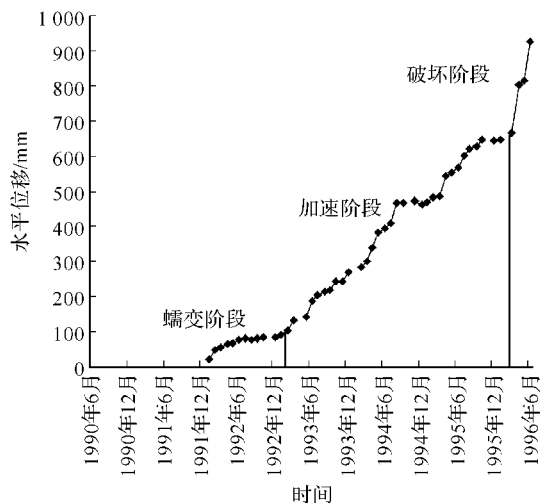


图 3 48-8-1 水平位移历时曲线图

Fig. 3 The displacement trend curve of 48-8-1

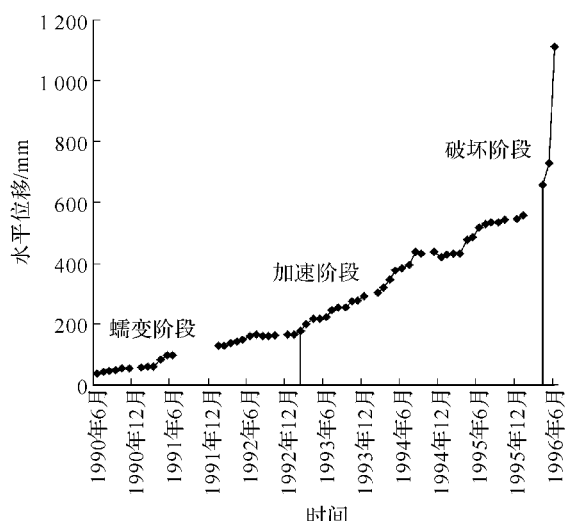


图 4 48-9X 水平位移历时曲线图

Fig. 4 The displacement trend curve of 48-9X

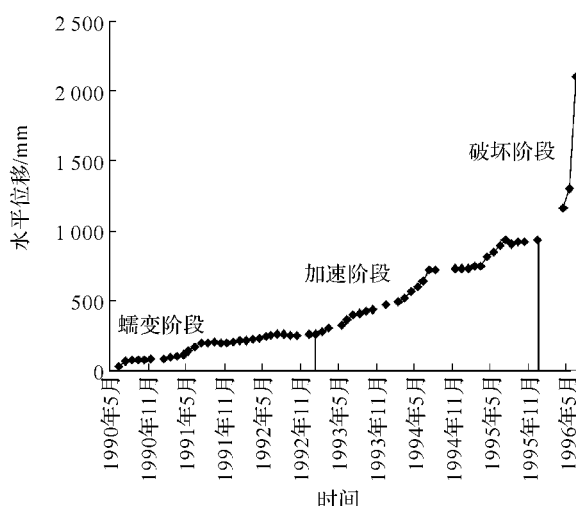


图 5 84-10 水平位移历时曲线图

Fig. 5 The displacement trend curve of 84-10

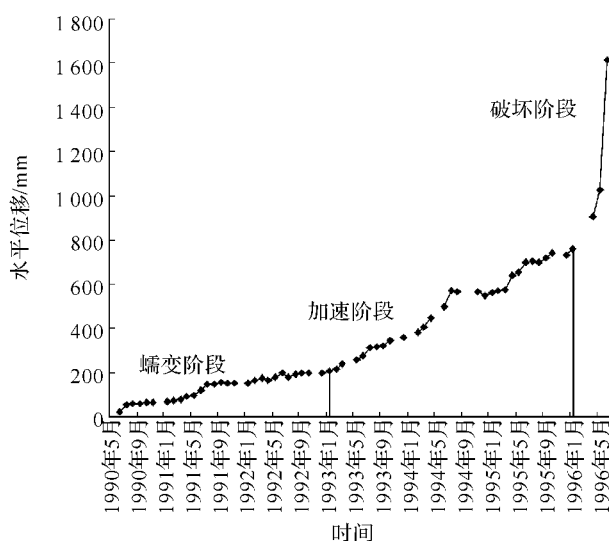


图 6 84-11 水平位移历时曲线图

Fig. 6 The displacement trend curve of 84-11

根据滑坡变形破坏阶段的划分,结合推移式滑坡的运动特点,其滑坡的后缘,中部,前缘的位

移判据不一样。

3.2 变形速率判据

最常用的滑坡预报方法就是临界位移速率法,变形速率即位移对时间的导数,依据边坡不同变形阶段的位移速率变化规律,寻找位移速率突变值,即作为速率判据,此方法对于矿山滑坡预报实用性强。根据监测点速率曲线可知:

a. 在 -60 m, -48 m, -36 m, -24 m 高程处,蠕滑阶段滑坡运动速率在 0.10~0.20 mm/d,加速阶段速率在 0.30~0.76 mm/d,破坏阶段速率在 1.2~2.2 mm/d 范围内。

b. 在 0 m 高程处,0-3 和 0-4 两点蠕滑阶段滑坡运动速率相近约为 0.20 mm/d,加速阶段速率约 0.7 mm/d,破坏阶段速率约为 5.0 mm/d。

c. 在 48 m, 72 m, 84 m, 96 m 高程处,蠕滑阶段滑坡运动速率相近,均为 0.4~0.6 mm/d,加速阶段速率在 1.50~2.5 mm/d 范围内,破坏阶段速率在 14.8~22.4 mm/d 之间。

d. 自 108 m, 132 m, 156 m, 180 m 高程处,蠕滑阶段滑坡运动速率均在 0.10~0.28 mm/d 范围,加速阶段速率在 0.42~0.75 mm/d,破坏阶段速率除个别点外,范围在 3.0~6.2 mm/d 之间。

3.3 蠕变切线角判据

蠕变曲线切线角即蠕变曲线上某点的切线与横坐标的夹角 α , 即 $\tan^{-1}(dx/dt)$ 趋于 90° 时,所对应的时间即为滑坡预报破坏时间。但一些滑坡往往由于某种诱发作用的影响,使失稳破坏的时间提前。此时,滑坡宏观预报判据进入加速变形、临滑阶段后的切线角 α 大于 70° 时和位移矢量角突然增大或减小时,也可将其作为滑坡时间预报的判据。以下表为各典型测点加速阶段-临滑阶段位移曲线突变点的切线角值,如表 1。

由表知滑前一个月,各测点的蠕变曲线临界切线角分布在四个区域值内。

a. 测点 -60-3, -60-4, -48-2 的临界切线角均在 $21.8^\circ \sim 39.7^\circ$ 范围内。

b. 测点 -60-1-1, -60-2, -60-5, -48-1, -36-2 的临界切线角均在 $51.1^\circ \sim 55.8^\circ$ 范围内。

c. 测点 -36-1, -24-2, -24-3 的临界切线角均在 $61.3^\circ \sim 66.4^\circ$ 范围内。

d. 测点 0-3, 0-4, 48-8-1, 48-9X, 48-10, 72-11, 72-10X, 72-11'X, 84-10, 84-11, 96-9, 108-8, 108-9, 132-12, 156-12, 180-12 的临界切线角均在 $72.1^\circ \sim 88.0^\circ$ 范围内。

研究发现滑坡体蠕变切线角后缘值较大,前

缘和中部相对偏小。

表 1 加速阶段蠕变曲线切线角

Table 1 Creeping tangent-angle criterion in the acceleration phase

测点	-60-2	-60-3	-60-4	-48-1	-48-2	-24-2
切线角/(°)	51.1	39.7	21.8	55.6	29.2	66.7
测点	-24-3	0-3	0-4	48-8-1	48-9X	48-10
切线角/(°)	61.3	79.7	77.5	76.2	86.1	87.5
测点	84-10	84-11	96-8	96-9	108-8	108-9
切线角/(°)	88.0	87.2	87.4	87.0	80.8	72.1
测点	132-11	132-12	156-12	180-12		
切线角/(°)	67.01	74.2	79.1	78.3		

3.4 位移加速度判据

位移加速度即 d^2u/dt^2 , 通过对位移时间曲线加速变形及破坏阶段的研究, 寻找翘尾点。结果表明在临滑前一个月内, 各测点的蠕变曲线变形速率不断增大, 其位移加速度值均大于 0。

3.5 位移矢量角变化判据

由运动学可知, 描述一个物体运动, 不但需要速率的大小, 而且需要运动的方向。在滑坡研究中, 常用垂直位移与水平位移之比即位移矢量角来表示滑体位移矢量的方向^[6]。在滑坡孕育发展过程中, 滑体上位移矢量方向的改变与滑坡发展阶段及失稳动力密切相关。从变形角度看, 滑坡在其发展过程中一般都经历了压密——趋势性整体位移——剪切膨胀——破坏(大位移)的过程。

典型测点的位移矢量图如图 7~图 10。(本文中空间位移矢量角为测点空间运动方向与垂直位移的夹角)。根据各典型监测点位移大小变化及矢量角变化曲线可知, 在滑体缓慢变形阶段, 测点空间运动方向与垂直方向的夹角一直在减小, 曲线较圆滑, 无明显突变, 说明边坡一直处于缓慢变形破坏, 没有崩落发生。但随变形的发展, 位移矢量角出现平直, 后期有翘尾趋势。整个变形发展阶段, 空间位移大小一直增大, 并且前期缓慢变形, 到达一定变形破坏阶段后数值突然增大, 有明显拐点, 斜坡向失稳方向加速滑动。与前面岩体划分的三个变形阶段数据吻合。

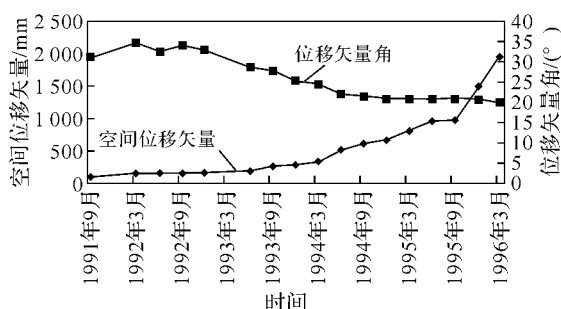


图 7 156-12 位移矢量图

Fig. 7 The displacement vector curve of 156-12

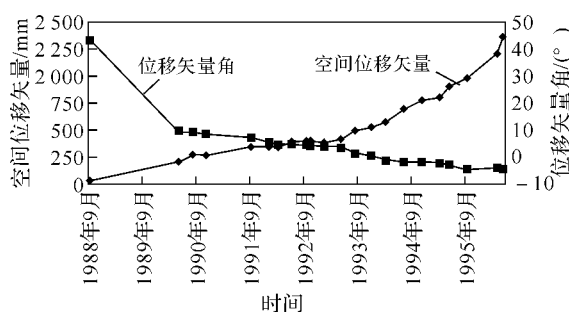


图 8 108-8 位移矢量图

Fig. 8 The displacement vector curve of 108-8

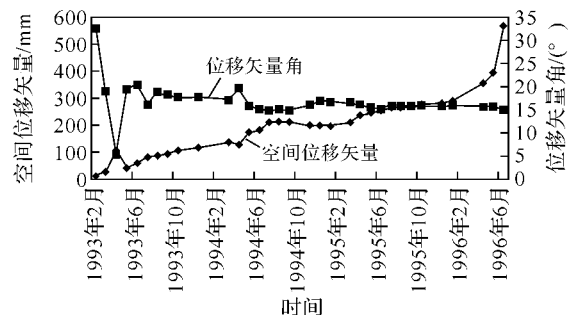


图 9 0-3 位移矢量图

Fig. 9 The displacement vector curve of 0-3

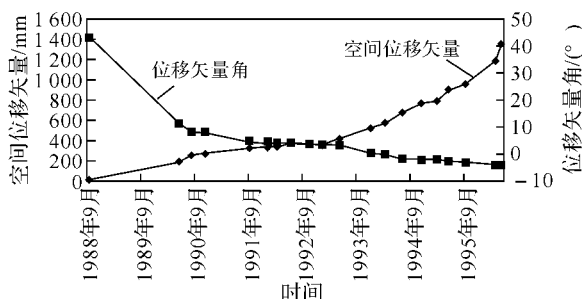


图 10 48-8X 位移矢量图

Fig. 10 The displacement vector curve of 48-8X

3.6 综合判据

对历年监测数据的统计, 研究滑坡体不同部位的位移、速率、加速度、位移矢量角(本文中空间位移矢量角为测点空间运动方向与垂直位移的夹角)变化曲线规律知, 滑坡体不同阶段其变形发展特征不同。在滑坡的蠕滑阶段, 变形速率、位移一直增大, 位移矢量角一直减小。在加速阶段, 变形

速率、位移明显增大,位移矢量角出现平直.在破坏阶段,变形速率、位移均有突变和拐点,位移矢量值也明显翘尾.因此,在滑体变形破坏过程中,根据临滑前位移速率、位移,结合位移矢量角的变化来预报滑坡,根据各参数的综合分析,提出滑体不同部位的综合判据值如表 2.

表 2 各参数变形破坏判据值
Table 2 Deformation criteria of parameters

滑体不同 部位监测点	蠕变到加速阶段		变形破坏阶段		蠕变切 线角/(°)
	位移判据	变形速率判	位移判据	变形速率判	
	值/mm	据值/(mm/d)	值/mm	据值/(mm/d)	
滑体后缘	500	0.8	900	6	80
滑体中部	100	2	300	22	66
滑体前缘	60	0.8	100	2	60

4 结 语

a. 根据对滑坡的工程地质调研,总结滑坡变形破坏原因①强蚀变绿泥石化透辉石闪长岩,易吸水膨胀崩解,抗变形能力弱;②碎裂岩体结构和地质构造弱面削弱了岩体强度,岩体整体稳定性较差.

b. 统计滑体变形发展监测曲线知,滑坡体变形发展破坏分为三阶段:即蠕滑阶段、加速阶段、破坏阶段.通过对地表位移监测数据, A₂ 滑坡体在发生破坏前后缘的位移量最大,前缘最小,由此可推断 A₂ 是推移式岩质滑坡,滑坡发生前首先从后缘发生破坏,由于后缘的运动破坏推动了前缘的运动.

c. 通过对滑坡体不同部位的监测数据的综合分析,在滑坡的蠕滑阶段,变形速率、位移一直增大,位移矢量角一直减小.在加速阶段,变形速率、位移明显增大,位移矢量角出现平直.在破坏阶段,变形速率、位移均有突变和拐点,位移矢量值也明显翘尾.根据各参数的联合,提出了大冶铁矿

滑坡的判据,为滑坡灾害的防治提供理论和现实的依据

参考文献:

[1] 吴树仁. 滑坡预警判据初步研究[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2004, 34(4): 596-599.

[2] 中国科学院岩土力学研究所. 大冶铁矿狮子山北帮 A 区尖 F₉ 断层上盘△-60 m 到△-96 m 边坡稳定性和滑坡防治研究[R]. 武汉: 中科院岩土学研究所, 1995.

[3] 李先福. 大冶东露天采场高陡边坡自动监测与应急系统[R]. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 2007, 6.

[4] 肖云, 周春梅, 吴燕玲, 等. 露天采场高陡岩质边坡典型地段稳定性分析[J]. 武汉工程大学学报, 2009, 31(3): 34-35.

[5] Zhou chunmei. Automatic monitoring system for high-steep slope in open-pit mine based on GPS and data analysis [C]// International Conference on Earth Observation Data Processing and Analysis, 2008.

[6] 阳吉宝, 钟正雄. 滑坡时间预报的双参数预报[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1996, 7(增刊): 63-65.

Characteristics and criterion of landslide in Daye Iron Mine

XIAO Yun ,LI Xian-fu ,ZHOU Chun-mei

(School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The characteristics of slope deformation and failure, the causes of landslide damage were studied through geological investigation in Daye Iron Mine. According to the limit characteristics of the development process, the trend curves of displacement, convergence velocity, creeping tangent-angle criterion, acceleration and displacement vector angles were deduced. On the basis of the mathematical statistics and multi-parameter analysis, comprehensive prediction criterion was discussed, which may provide scientific evidence for future monitoring.

Key words: the characteristics of landslide failure; landslide prediction; landslide criterion

本文编辑: 龚晓宁